6A

УДК 004.8

Т. Акинфиев[1]*, М. Армада*[1]*, Р. Фернандес*[2]
[1]Институт промышленной автоматики Высшего Совета научных исследований Испании, г. Мадрид
[2]Политехнический институт Университета СЕУ-Сан Пабло, г. Мадрид, Испания
teodor@iai.csic.es, armada@iai.csic.es, rofernandez@ceu.es

Управление колесным роботом при движении по лестнице

В статье обсуждается колесный робот со специальной конструкцией колес и алгоритмы управления этим роботом. Робот способен работать в двух режимах – режиме непрерывного движения по достаточно хорошей поверхности и в режиме прерывистого движения по мягкой поверхности или по лестнице. Изготовлен и испытан прототип робота.

Введение

Хорошо известно, что шагающие роботы характеризуются относительно сложной конструкцией, чрезвычайно низкой скоростью перемещения и высокими энергозатратами [1], однако они способны преодолевать препятствия, двигаться по грунту с низким коэффициентом трения, рыхлому грунту, такому как песок, пыль и т.д. В противоположность шагающим роботам, колесные мобильные роботы имеют простую конструкцию и достаточно высокую скорость при низких энергозатратах, однако они могут двигаться только по поверхности, не имеющей существенных препятствий, легко застревают в песке или на мягкой поверхности. Известно несколько попыток создания комбинированных роботов, которые сочетают некоторые достоинства шагающих машин и колесных машин в одной конструкции [2-4]. Как правило, такие роботы представляют собой шагающие машины, на концах ног которых установлены колеса. Такие конструкции могут работать как шагающие машины или как колесные машины в зависимости от типа поверхности, по которой движется робот. К сожалению, такие машины характеризуются еще большей сложностью конструкции и системы управления, чем традиционные шагающие машины.

Представленная работа является дальнейшим развитием идей, изложенных в [5], где было показано, что конструкция робота с возможностью поступательного перемещения оси колес позволяет значительно улучшить его возможности при перемещении по поверхностям без специального покрытия и сохранить высокую эффективность традиционного колесного робота при движении по дороге с твердым покрытием. В настоящей работе обсуждается специальная конструкция колес для робота с подвижной осью. Эта конструкция, сохраняя все преимущества робота, описанные ранее, дополнительно позволяет роботу уверенно двигаться по лестнице.

Отметим, что конструкция колес для движения робота по лестнице рассмотрена в работах [6], [7], однако эта конструкция оказалась достаточно сложной, в частности, в ней используется 16 моторов, а алгоритмы комбинированного управления этими моторами просто не обсуждаются авторами.

Цель работы

Цель настоящей работы – создание относительно простой конструкции колесного робота, который способен работать как традиционный колесный робот на достаточно гладких поверхностях и, в то же время, иметь возможность преодолевать препятствия размером больше диаметра колеса, не застревать при движении по песку или по мягкой поверхности с низким коэффициентом трения и уверенно двигаться по лестнице.

Постановка задачи

Рассматривается задача разработки простого и дешевого колесного робота с изменяемой структурой, предназначенного для движения как по дороге с качественным покрытием в режиме традиционного колесного робота, так и для перемещения по мягкой поверхности с низким коэффициентом трения. Этот же робот должен иметь возможность преодолевать препятствия размером, превышающим диаметр колеса, и двигаться вверх и вниз по лестнице. Робот, обладающий такими свойствами, может быть использован как основа для создания кресла для инвалидов, способного обеспечить инвалиду значительно большую самостоятельность. Этот же робот может быть использован как подвижная платформа для поиска мин; возможны и другие приложения разрабатываемого робота.

Конструкция робота

Предлагаемое авторами настоящей работы техническое решение [8], [9] основано на комбинированном использовании поступательно перемещаемой оси колесного робота и специальной конструкции колес.

Новая конструкция, расширяющая технологические возможности робота, представлена на рис. 1 и 2. Отличие данной конструкции от традиционных конструкций состоит в том, что одна из осей колес (например, передняя) может поступательно перемещаться относительно корпуса с помощью мотора, а вместо обычных колес на каждой из осей робота закреплены с возможностью вращения относительно оси треугольные элементы. По углам каждого из этих элементов имеются малые оси, на каждой из которых закреплено колесо. Все колеса имеют устройства фиксации, в качестве которых могут использоваться тормоза, двусторонние фиксаторы или моторы с самотормозящейся передачей (по одному фиксирующему устройству на каждую тройку колес). Треугольные элементы снабжены фиксаторами, обеспечивающими фиксацию треугольных элементов в положении, когда одно из колес находится в нижнем положении.

Работоспособность робота может быть обеспечена при использовании по крайней мере трех моторов: мотора для поступательного перемещения оси робота (мотор 1), силового мотора (мотор 2) для вращения одной тройки колес и мотора для задания направления движения робота за счет поворота колес одной из осей (мотор 3).

Ниже будет показано, что для увеличения устойчивости и облегчения процесса движения по лестнице целесообразно снабдить робот дополнительным мотором (мотор 4), осуществляющим поступательное перемещение платформы с полезным грузом (например, креслом для инвалида) по отношению к корпусу робота.

Основной режим движения робота

На рис. 1 представлена конфигурация робота при движении по достаточно ровной дороге с хорошим покрытием (основной режим движения робота). Фиксаторы всех колес выключены, треугольные элементы заперты фиксаторами в положении, когда одно из колес каждой тройки занимает самое нижнее положение. Мотор 1 выключен, перемещение робота осуществляется с помощью мотора 2, а направление движения робота задает мотор 3. Такое движение полностью соответствует движению традиционных колесных роботов и в данной работе не описывается. В принципе, мотор 4 может быть выключен, однако использование этого мотора позволяет перемещать центр тяжести робота, что дает возможность увеличить устойчивость по отношению к опрокидыванию при больших углах наклона дороги. Движение робота осуществляется в непрерывном режиме.

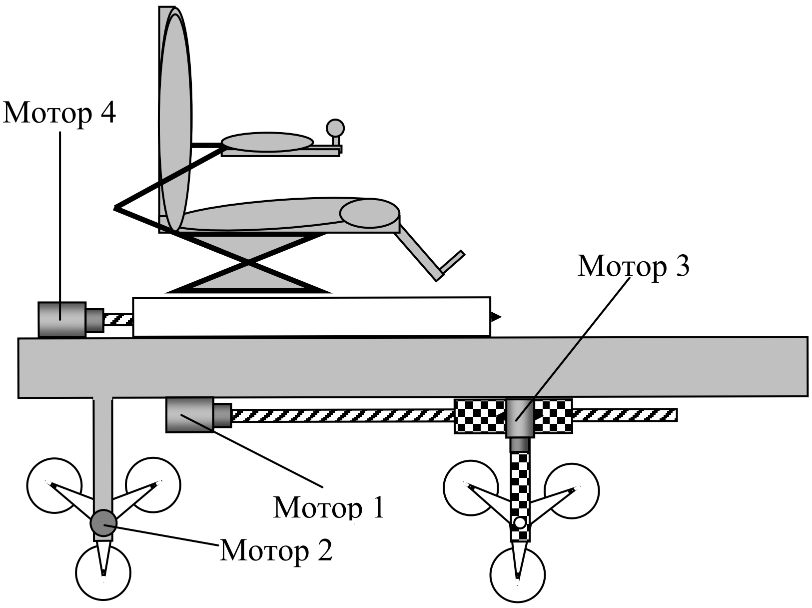


Рисунок 1 – Схема робота при движении по ровной дороге

Движения робота по песку, снегу, скользкой дороге

Движение робота в тяжелых дорожных условиях осуществляется в прерывистом режиме, когда опорные колеса попеременно играют роль ног (запертые фиксаторами колеса) или традиционных колес. Конфигурация робота в этом режиме соответствует рис. 1.

Треугольные элементы заперты фиксаторами в положении, когда одно из колес каждой тройки занимает самое нижнее положение. Мотор 2 отключен, а перемещение робота осуществляется с помощью мотора 1, включаемого попеременно в прямом и обратном направлении и соответствующего управления [5], [9] фиксаторами колес. Движение робота в этом режиме ничем не отличается от движения, описанного ранее в [5], [9], где была показана высокая эффективность использования прерывистого движения колесного робота с подвижной осью в тяжелых дорожных условиях. В принципе, мотор 4 может быть выключен, однако использование этого мотора позволяет перемещать центр тяжести робота, что дает возможность дополнительно улучшить проходимость робота за счет уменьшения нагрузки на движущуюся в данный момент ось при одновременном увеличении нагрузки на покоящуюся ось.

Исходное положение робота для движения по лестнице и преодоления препятствий

На рис. 2 представлена конфигурация исходного положения робота для движения по лестнице или преодоления препятствий. Фиксаторы треугольных элементов выключены, поэтому каждый из этих элементов опирается на пару колес. Мотор 1 выключен, перемещение робота осуществляется с помощью мотора 2, а направление движения робота задает мотор 3. В принципе, мотор 4 может быть выключен, однако использование этого мотора позволяет перемещать центр тяжести робота, что дает возможность увеличить устойчивость по отношению к опрокидыванию при больших углах наклона робота. Перемещение центра тяжести робота также дает возможность дополнительно облегчить движение по лестнице за счет уменьшения нагрузки на движущуюся в данный момент ось при одновременном увеличении нагрузки на покоящуюся ось. Работа робота осуществляется в непрерывном режиме.

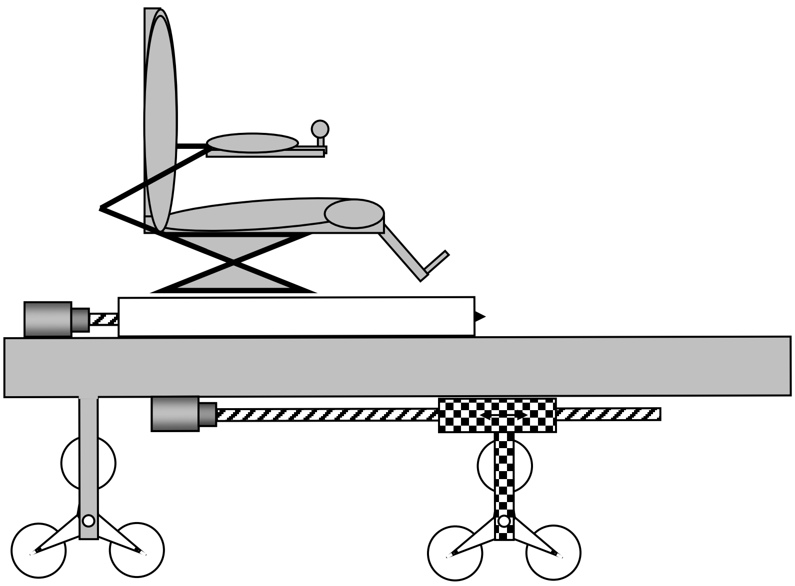


Рисунок 2 – Исходное положение робота перед движением по лестнице

Переход робота из состояния, соответствующего рис. 1, в состояние, соответствующее рис. 2, осуществляется в автоматическом режиме с помощью привода поступательного перемещения оси робота. Для осуществления этого перехода запирают фиксаторами задние и передние колеса и сохраняют запертым фиксатором треугольный элемент задних колес. Выключают фиксатор треугольного элемента передних колес и перемещают переднюю ось вперед с помощью привода этой оси. Это приводит к тому, что треугольный элемент передних колес поворачивается и начинает опираться на пару колес. После этого выключают фиксатор треугольного элемента задней оси. Включают привод поступательного перемещения передней оси в обратном направлении. Так как передние колеса заперты фиксаторами, то они не движутся из-за сил трения. В результате этого происходит движение корпуса робота вперед, сопровождающееся поворотом заднего треугольного элемента вокруг опорного колеса. Мотор поступательного движения оси выключают в тот момент, когда задняя ось начинает опираться на два колеса. Новое положение робота соответствует исходному положению для движения по лестнице или преодоления препятствий (рис. 2). Обратный процесс происходит аналогичным образом.

Отметим, что во время этого перехода для надежной работы робота целесообразно перемещать центр тяжести робота с помощью мотора 4, осуществляющего поступательное перемещение платформы с полезным грузом. Так, перед началом движения передней оси можно сместить центр тяжести робота назад, что уменьшит нагрузку на переднюю ось и увеличит нагрузку на заднюю ось. Аналогичным образом, при движении задней оси целесообразно увеличить нагрузку на переднюю ось и уменьшить нагрузку на заднюю ось.

Фазы движения робота по лестнице

Простейший алгоритм, обеспечивающий движение робота по лестнице, схематично изображен на рис. 3, где показано движение вверх. Движение вниз осуществляется аналогичным образом.

В исходном положении (рис. 3а) платформа для кресла смещена назад для загрузки запертых фиксаторами задних колес и уменьшения нагрузки на передние колеса. С помощью привода поступательного перемещения оси перемещают эту ось вперед. При этом треугольные элементы этой оси поворачиваются относительно нее, обеспечивая перекатывание передних колес на следующую ступеньку (рис. 3б). После того, как колеса на каждой стороне передней оси займут положение, изображенное на рис. 3в, привод перемещения оси прекращает работу.

В этот момент включается привод перемещения платформы, который смещает эту платформу вперед (рис. 3г) для загрузки передних колес и уменьшения нагрузки на задние колеса. Передние колеса запирают фиксаторами, а фиксаторы задних колес выключают. Включают привод поступательного перемещения оси таким образом, чтобы он пытался сдвинуть переднюю ось назад. Так как колеса передней оси заперты фиксаторами и не могут катиться назад, то начинается движение тела робота вперед. При этом треугольные элементы задней оси поворачиваются относительно нее, обеспечивая перекатывание задних колес на следующую ступеньку (рис. 3д). После того, как колеса на каждой стороне задней оси займут положение, изображенное на рис. 3е, привод перемещения оси прекращает работу, а привод перемещения платформы сдвигает ее в исходное положение. После этого весь процесс повторяется.

Этот алгоритм управления обеспечивает высокую нагрузку на те колеса, которые заперты в данный момент фиксаторами, что не только предотвращает проскальзывание колес, но и предотвращает нарушающее нормальную работу обратное вращательное движение треугольных элементов этих колес. В то же время алгоритм позволяет уменьшить нагрузку на движущуюся в данный момент ось робота, что облегчает вращательное движение треугольных элементов этой оси.

Отметим, что описанный алгоритм перемещения робота по лестнице является достаточно простым и работоспособным в тех случаях, когда центр тяжести робота находится не слишком высоко. Если же это условие не выполняется, то в связи с необходимостью предотвращения опрокидывания работа и поддержания заранее заданного резерва устойчивости по отношению к опрокидыванию, может быть использован модифицированный алгоритм управления. Отличие модифицированного алгоритма управления состоит в том, что управление приводом перемещения платформы может содержать обратную связь с использованием датчиков нагрузки на оси. Это дает возможность поддерживать заранее заданное соотношение между нагрузкой на движущуюся ось и нагрузкой на неподвижную ось робота. В таком случае при движении робота по лестнице непрерывно поддерживается определенный запас устойчивости робота по отношению к опрокидыванию.

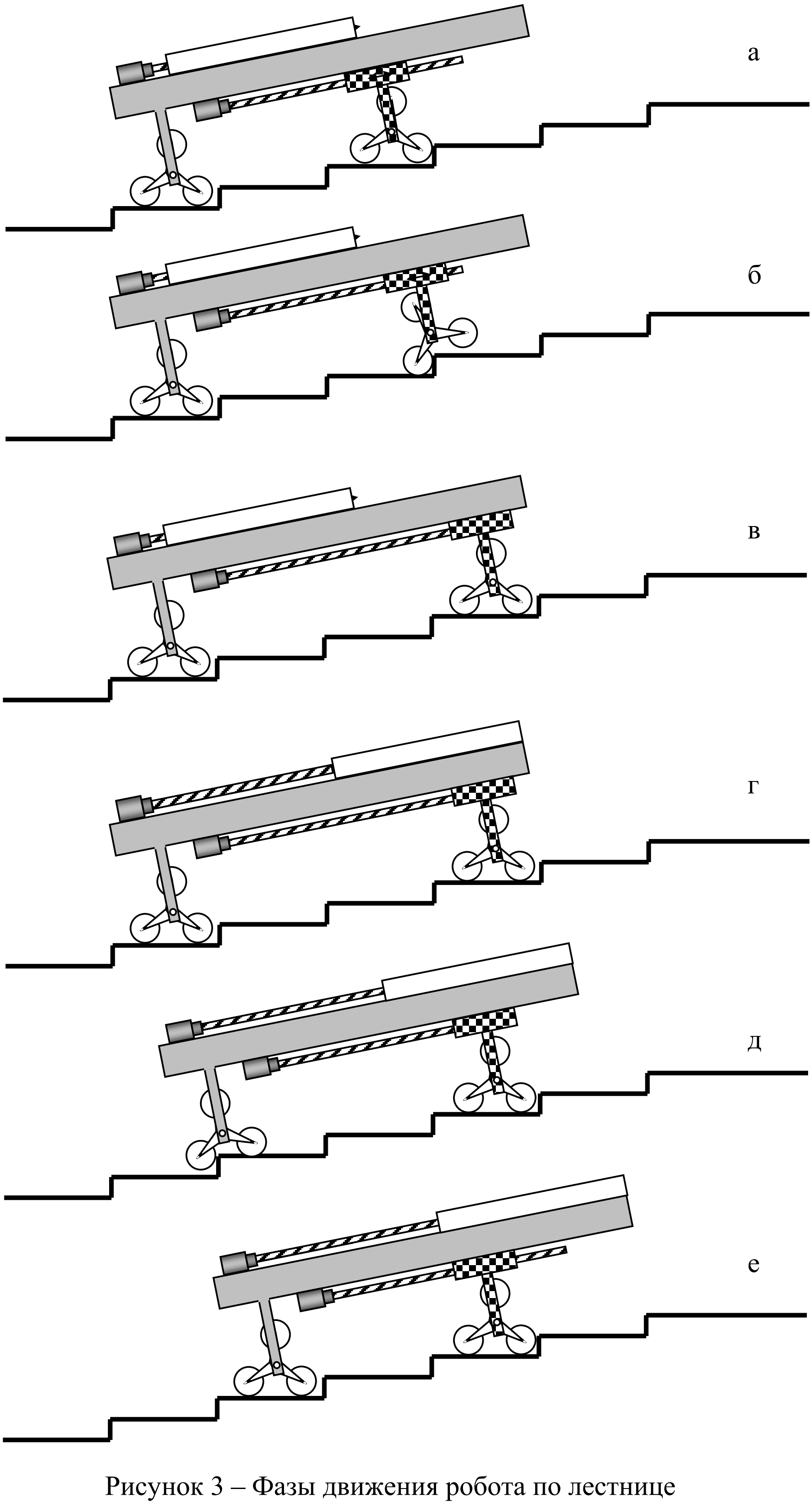


Рисунок 3 – Фазы движения робота по лестнице

Лабораторный прототип робота

Для проверки работоспособности предложенной конструкции и алгоритма управления этой конструкцией был разработан и изготовлен лабораторный прототип робота (рис. 4). Испытания этого прототипа подтвердили, что разработанные принципы позволяют колесному роботу с подвижной осью и специальной конструкцией колес уверенно двигаться по лестнице и преодолевать препятствия.

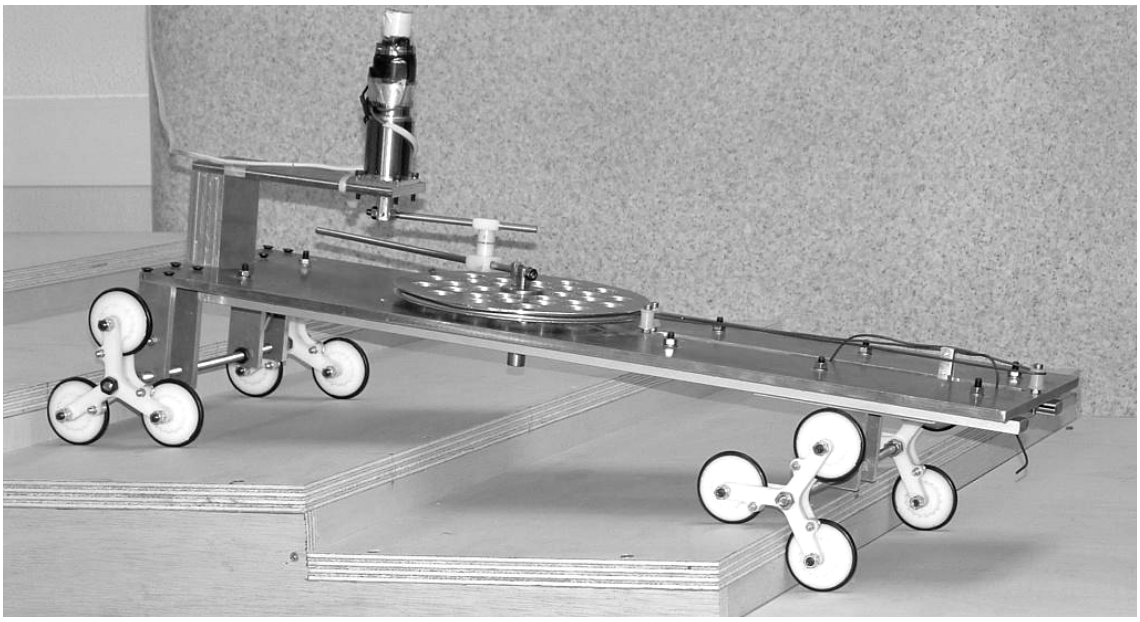


Рисунок 4 – Лабораторный прототип робота

Интересно отметить, что в процессе испытаний было показано, что перемещение платформы для изменения положения центра тяжести робота является принципиальным. Попытка организовать движение робота по лестнице без изменения положения центра тяжести робота приводила к тому, что вместо перекатывания треугольного элемента одной из осей вперед происходило перекатывание треугольного элемента другой оси в обратном направлении. Это было связано с малой нагрузкой на ту ось, которая на данном этапе должна была находиться в покое. Использование же привода перемещения платформы полностью решало эту проблему

Выводы

Разработан принцип, позволяющий эффективно использовать колесный робот со специальной конструкцией колес при движении как по дороге с покрытием, так и по дороге без покрытия (песок, снег, мокрая глина) и, кроме того, способного двигаться по лестнице и преодолевать препятствия. Разработан, изготовлен и испытан лабораторный прототип рассматриваемого робота. Разработаны алгоритмы управления роботом для различных условий эксплуатации. Разработанный принцип построения колесного робота может быть эффективно использован при создании кресла для инвалидов, способное перемещаться не только по дороге с покрытием, но и по дороге без покрытия, преодолевать препятствия и двигаться по лестнице.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Высшему Совету научных исследований Испании за финансовую поддержку данной работы в рамках Проекта «Новые высокоэффективные приводы и алгоритмы управления для робототехники и автоматизации».

Литература

1. Walking Machine Catalogue. – Режим доступа: http://www.walking-machines.org/
2. Leppanen I., Salmi S., Halme A. Workpartner – HUT Automations new hybrid walking machine. CLAWAR 98. – Brussels.
3. Matsumoto O., Kajita S., Saigo M., Tani K. Biped – type leg – wheeled robot // Advanced Robotics. – Vol. 13, № 3. – P. 235-236.
4. Adachi H., Koyachi N., Arai T., Shimuzu A., Nogami Y. Mechanism and control of leg – wheel hirbid mobile robot // Proc. IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Automation. – 1999. – P. 1792-1797.
5. Akinfiev T., Fernandez R. et. al. Design of mobile robot with changeable structure // Proc. 9th International Conference on Climbing and Walking Robot. CLAWAR 2006.
6. Moradi Dalvand M., Moghaddam M. Design and Modeling of a Stair Climber Smart Mobile Robot. – Proc. ICAR 2003. The 11th International Conference on Advanced Robotics.
7. Moradi Dalvand M., Moghaddam M. Stair Climber Smart Mobile Robot // Autonomous Robots. – 2006. – № 20: P. 3-14. – Springer.
8. Akinfiev T., Fernandez R. et. al. Device for transporting persons or objects and method for controlling same: Patent ES2277777 (Spain), WO2007068780 (World patent).
9. Акинфиев Т., Рамирес А., Армада М. Моторизованное инвалидное кресло на основе гибридного робота // Искусственный интеллект. – 2007. – № 4. – С. 399-407.

Т. Акінфієв, М. Армада, Р. Фернандес
Керування колісним роботом під час руху сходами
У статті обговорюється колісний робот зі спеціальною конструкцією колес і алгоритми керування цим роботом. Робот здатний працювати у двох режимах – режимі безперервного руху достатньо хорошою поверхнею і в режимі преривчастого руху м’якою поверхнею або сходами. Виготовлений і випробуваний прототип робота.

T. Akinfiev, M. Armada, R. Fernandez
Control for Wheeled Robot Driving on the Stairs
In the paper, a wheeled robot is discussed with special design of wheels and its control algorithms. The robot can work in two modes: a continuous movement along a sufficiently solid surface and discontinuous movement along a soft surface or upstairs. The robot prototype has been made and tested.

Статья поступила в редакцию 23.07.2008.